EMPREGO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PARACATU

MariaElisabete Silveira BORGES [1]
Osmar Abílio de CARVALHO JÚNIOR [2]
Éder de Souza MARTINS [3]
Renato Fontes GUIMARÃES [4]
Gustavo Felipe Balué ARCOVERDE [5]

RESUMO

A modelagem computacional dos processos geomorfológicos auxilia no estabelecimento dos critérios e atributos que descrevem a complexidade das superfícies. Neste propósito, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite interagir as diferentes entidades do meio físico com objetivo de subsidiar as análises de padrões da paisagem em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração. Assim, o emprego da análise geográfica e estatística permite estabelecer critérios para a identificação, comparação e classificação das unidades geomorfológicas. De uma forma sucinta, pode-se definir duas atividades que resumem a análise geográfica: identificação dos padrões e compreensão dos relacionamentos espaciais. Na análise dos padrões espaciais, várias descrições numéricas e estatísticas podem ser obtidas com intuito de defini-los da melhor forma dentro de um estudo, compreendendo, assim, as causas de sua origem e de suas relações. O presente trabalho possui como objetivo estabelecer unidades da paisagem relativas ao meio físico a partir de mapas morfométricos, pedológicos e geológicos na bacia do rio Paracatu. Esta bacia engloba parte do Distrito Federal e dos municípios mineiros de Unaí, Paracatu e Vazante. A metodologia utilizada é constituída pelos seguintes passos: (a) confecção do modelo digital de terreno (MDT) a partir de cartas topográficas 1:100.000; (b) confecção dos mapas morfométricos (área de contribuição, direção de fluxo e declividade); (c) compartimentação geomorfológica pela análise estatística e realce digital das imagens morfométricas, e (d) comparação dos dados morfométricos com as unidades geológicas e pedológicas. O processamento digital dos parâmetros morfométricos e a integração dos dados com o mapa pedológico e geológico permitiram a determinação de quatro unidades geomorfológicas. Como conclusão observa-se que a metodologia proposta, baseada no processamento digital dos parâmetros morfométricos, permite tanto uma otimização no processo de classificação como uma análise estatística mais acurada das informações disponíveis. Constata-se uma íntima relação entre o arcabouço estrutural com as formas de relevo.

INTRODUÇÃO

A análise morfométrica obtida em ambiente computacional em programas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é amplamente utilizada na caracterização dos processos hidrológicos e geomorfológicos (Moore et al., 1991; Schimidt and Dikau, 1998). No entanto é difícil estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade das superfícies o que

[1] Universidade de Brasília, Aluna de graduação, Bolsista de Iniciação Cietifica, PIBIC (CNPq), elisabete_silveira@yahoo.com.br
[2] Universidade de Brasília, Professor Doutor, osmarjr@unb.br
[3] EMBRAPA / CPAC, Pesquisador, eder@cpac.embrapa.br
[4] Universidade de Brasília, Professor Doutor, renatofg@unb.br
[5] Universidade de Brasília, Aluno de gradução, gustavofba@ibest.com.br

proporciona o desenvolvimento de inúmeros métodos para sua descrição e análise (Evans, 1984a; Evans and McClean, 1995). Neste propósito, o emprego de processamento digital de imagens morfométricas para a compartimentação geomorfológica e pedológica tem sido amplamente utilizados na região do Brasil Central (Leal et al., 2003; Hermuche et al. 2002, 2003ab, Oliveira et al, 2005; Panquestor et al, 2002). Busca-se a partir dessa metodologia descrever a complexidade dos processos em ambiente de SIG em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração. O SIG permite integrar os diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo como a geologia, os solos, entre outros. Deve-se também buscar estabelecer relações dos fatores naturais e antrópicos ao longo do tempo que originam uma nova paisagem ou uma modificação daquela preexistente (Pinto, 1993).

O conhecimento geomorfológico insere-se no diagnóstico das condições ambientais, contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas (Christofoletti, 2001). Dentro desse contexto, a compartimentação geomorfológica nos fornece uma visão integrada do meio físico, pois considera as variáveis responsáveis pela estrutura resultante da paisagem "visando à organização de um esboço geomorfológico e estabelecendo uma síntese da compartimentação e seus reflexos na ocupação do solo" (Casseti, 1981).

A região de estudo é a Bacia do Rio Paracatu que engloba paisagens cársticas que possuem caracteríticas próprias com relação a litologia, geomorfologia, vegetação, pedologia, clima e da drenagem, predominantemente vertical e subterrânea (criptorréica) onde descreve-se o processo da espeleogênese (Bigarella, 1996).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo aplicar a análise morfométrica numa área com ocorrência de geomorfologia cárstica, definindo assim, as unidades geomorfológicas a partir da morfometria do relevo. Os resultados obtidos poderão ser utilizados para subsidiar outros trabalhos.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Bacia do Rio Paracatu, que é uma das principais sub-bacias do Rio São Francisco, abrangendo do alto até o médio Paracatu, totalizando mais de 50% da área da Bacia (Figura 1). A área engloba os municípios da região noroeste do Estado de Minas Gerais e pequenas partes incluídas no sudeste do Estado de Goiás e leste do Distrito Federal.

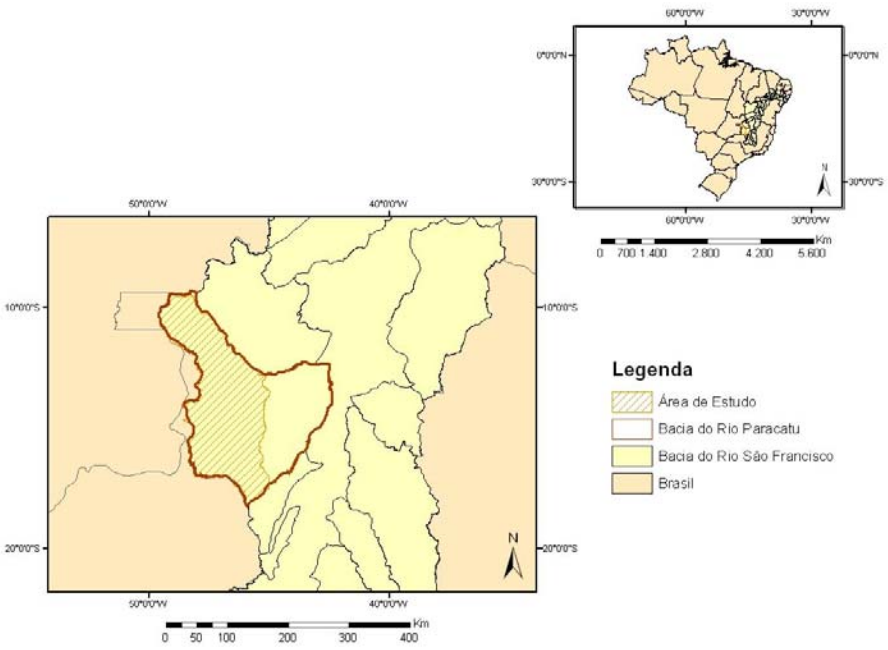

Figura 1 – Localização da área de estudo

Do ponto de vista climático, a área apresenta um clima de natureza essencialmente tropical, onde as variações térmicas são pequenas, com o regime pluviométrico caracterizado por máximos no verão e mínimos no inverno. Apresentam totais anuais de precipitação decrescendo de 1600 mm a 1000 mm, no sentido oeste-leste e chuvas concentradas nos meses de outubro a abril (PLANPAR, 1998).

Quanto à geologia, a área é constituída pela Formação Vazante, Grupo Canastra, Grupo Paranoá, Sub-Grupo Paraopeba (pertencente ao Grupo Bambuí) e os depósitos da era Cenozóica que é formado pela cobertura detrito-lateríticas dos períodos Terciário-Quartenário (Scislewski *e at*, 2003). Na região de Formosa-Cabeceiras-Unaí ocorre fácies carbonatas na parte superior do Grupo Paranoá (Schobbenhaus, 1984).

As classes de solos predominantes na área são os LATOSSOLOS, ARGISSOLOS e NEOSSOLOS (EMBRAPA, 1999). A ocorrência das feições cársticas principais ocorrem nas áreas dissecadas, sobre a Formação Vazante, próximo ao Grupo Canastra e os solos que estão presentes nessas feições são principalmente os CAMBISSOLOS, os NEOSSOLOS LITÓLICOS e LATOSSOLOS VERMELHOS.

Geomorfologicamente, PLANPAR (1998) realizou um estudo que englobou a bacia do Paracatu definido as seguintes unidades: Planalto do São Francisco, Cristas de Unaí e Depressão Sanfranciscana. Os planaltos são representados por superfícies tabalures ou chapadas. As cristas são alinhamentos orientados na direção NNW-SSE, entre as quais se intercalam zonas rebaixadas e aplainadas. Ao longo das cristas, existem formas cársticas típicas. A Depressão Sanfranciscana é uma área rebaixada e aplainada com cotas variando entre 400m e 600m.

METODOS E TÉCNICAS

Para confeccionar o MDT (Figura 2), que é o dado de entrada necessário para derivar os mapas empregados na modelagem do fator topográfico, foi utilizada a base cartográfica na escala 1:100.000, em formato digital, cedidas pela CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba), contendo curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. Esses dados foram corrigidos no *software ArcView*.

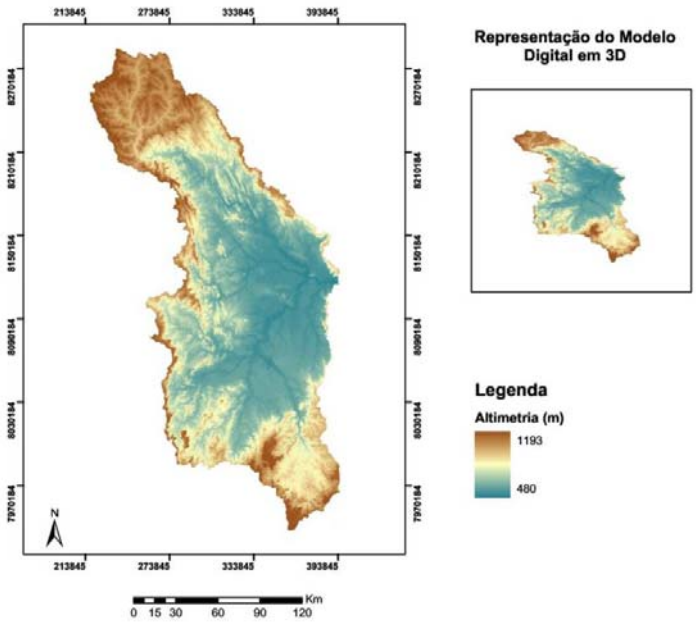

Figura 2 – Modelo Digital de Terreno (MDT).

Utilizando-se desses dados**,** foi confeccionado o MDT a partir do módulo *Topogrid* do *software ArcInfo*, com resolução de 40m X 40m. A partir dele foram derivados os parâmetros morfométricos empregados: declividade, direção de fluxo e área de contribuição com mesma resolução.

Após a obtenção dos parâmetros morfométricos foram feitas duas composições coloridas, no *software Envi*, com os seguintes parâmetros: MDT, direção de fluxo, declividade e área de contribuição; a partir da combinação das três cores primárias RGB (*Red*- vermelho, *Green* - verde e *Blue* - azul). Segundo Cárdenas (1999) as composições coloridas constituem uma ótima ferramenta para análise visual, contribuindo para a caracterização das unidades. Sua função é realçar esses aspectos para facilitar análise da morfometria local. Verificou-se que composição que melhor destacou o relevo foi à composta pelos parâmetros: MDT, declividade e área de contribuição porque possibilitou visualizar melhor as unidades geomorfológicas (Figura 3).

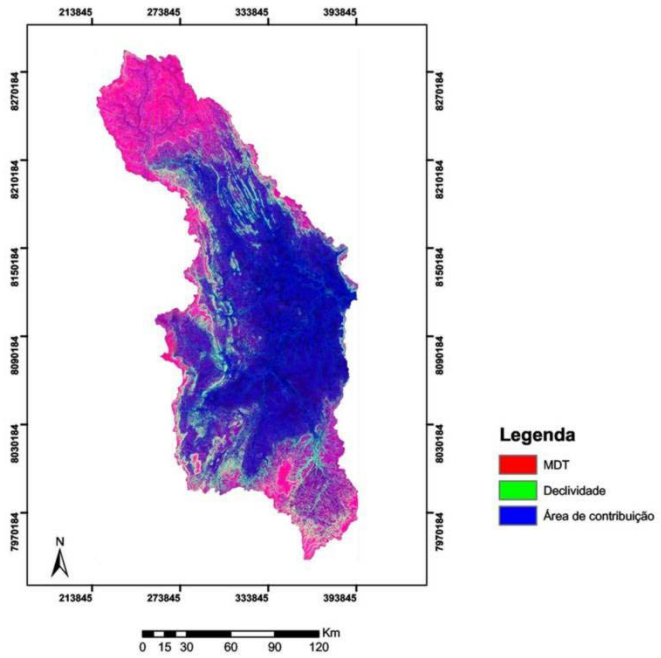

Figura 3 – Composição colorida (RGB): MDT, declividade e área de contribuição.

Para melhor individualizar, caracterizar e quantificar as formas do relevo foi feita a análise estatística da composição colorida no *software Envi* (tabela 1), na qual foram obtidos histogramas do MDT e de seus mapas derivados. A partir do histograma de freqüência de hipsometria do MDT (Gráfico 1) foi possível delimitar as unidades geomorfológicas realçadas pela composição colorida.

Tabela 1 – Ánalise estatistica da composição colorida

Mapas	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
MDT	480.372406	1192.890381	700.991073	150.614750
Direção de Fluxo	0.000000	6.282941	2.935790	1.861266
Declividade	0.000000	55.828766	3.289489	4.354634
Área de contribuição	1.602060	8.878374	2.611169	0.685928

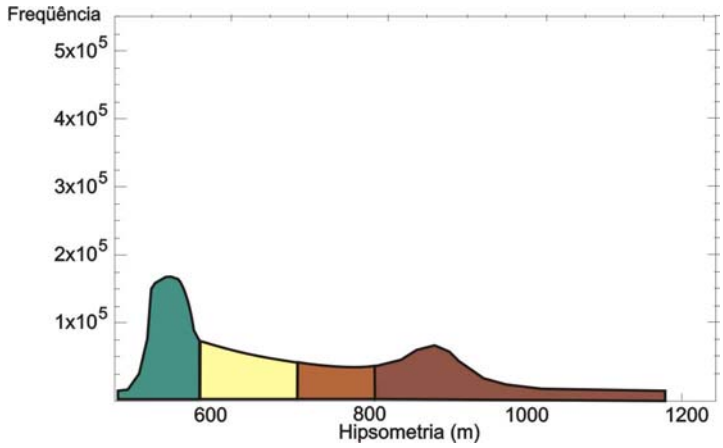

Gráfico 1– Histograma de freqüência da hipsometria do MDT. 1) Superfície de Acumulação (verde),2) Superfície de Dissolução Inferior (amarelo), 3) Superfície de Dissolução Superior (marron claro) e 4) Planaltos Retocados (marrom escuro).

Por meio da análise do gráfico, foi possivel delimitar as unidades geomorfológicas evidenciadas pela composição colorida. Observa-se que a maior freqüência ocorre entre o intervalo das cotas 480m a 580m. A partir da cota 580m até a cota 717m a freqüência mantém homogeneidade, mas começa diminuir em relação ao intervalo anterior. Após a cota 717m começa outra unidade geomorfológica formada pelos intervalos das cotas 717m a 818m, na qual há um aumento relativo da freqüência, mas que não ultrapassa o intervalo anterior. A partir da cota 818m ocorre uma queda brusca da freqüência, caracterizando uma formação de menor ocorrência na área de estudo.

RESULTADOS

Na compartimentação geomorfológica a altimetria é identificada como o principal critério na delimitação das unidades, que foram definidas como: Planaltos Retocados (818 a 1193m), Superfície de Dissolução Superior (717m a 818m), Superfície de Dissolução Inferior (580m a 717m), e Superfície de Acumulação (480m a 580m) (Figura 4).

Uma melhor caracerização dessas unidades foi obtida considerando o mapa de solos da EMBRAPA, na escala de 1:250.000 (Figura 5), mapa da geologia na escala de 1:2.500.000 (Schobbenhaus, 1984), ocorrência de alguns pontos de feições cársticas obtidos no CECAV-IBAMA (Figura 6) e os estudos geomorfológicos dessas áreas realizadas por Dantas, 2003, e projeto RADAMBRASIL.

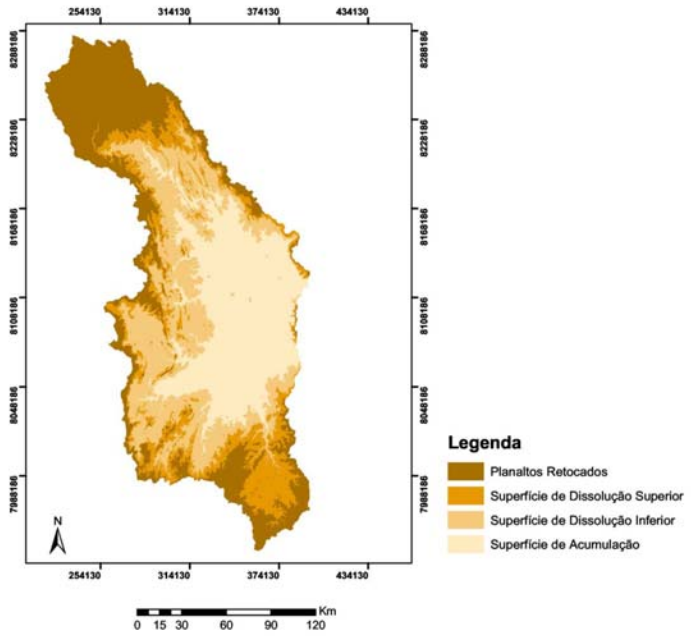

Figura 4 – Compartimentação geomorfólogica

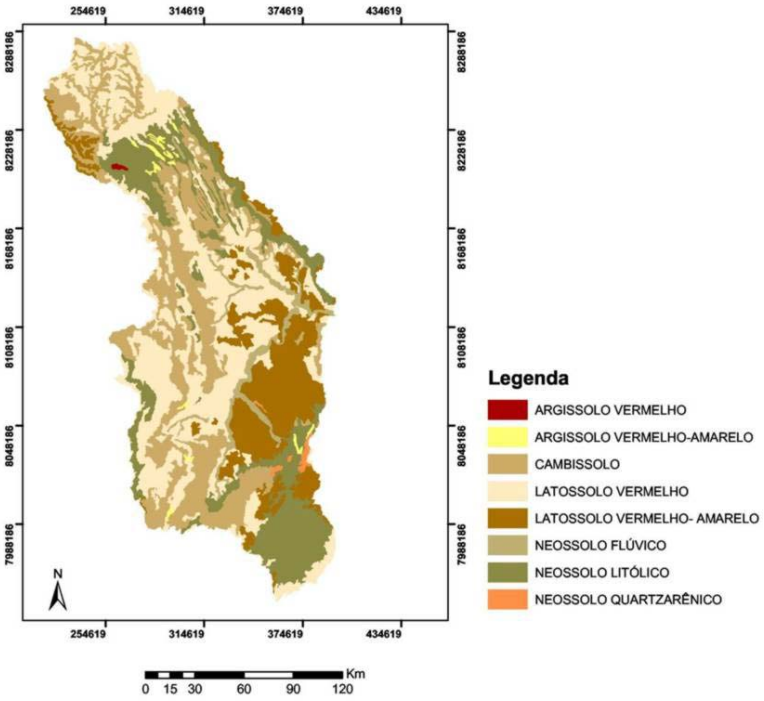

Figura 5 - Mapa de solos (EMBRAPA)

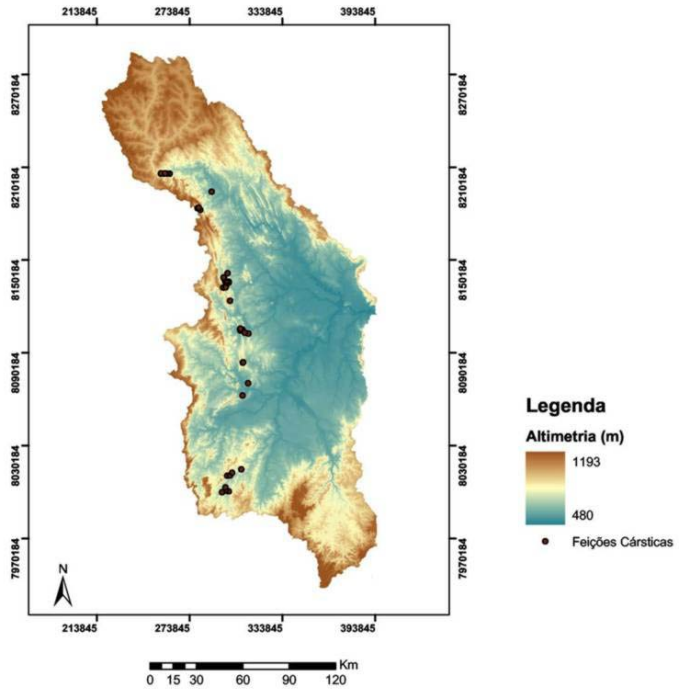

Figura 6 – Ocorrência das feições cársticas (pontos CECAV - IBAMA)

As principais características das unidades são:

Planaltos Retocados: São áreas que caracterizadas por pediplanos levemente sulcados por uma rede de drenagem de baixa densidade (Dantas, 2003). É uma região que apresenta média de 1005m. De acordo com o histograma é a unidade que apresenta menor freqüência. Por ser uma região que possui uma grande área plana, quase não apresenta acúmulo de fluxo. Os solos de maior ocorrência são LATOSSOLOS VERMELHOS. Ocorrem também áreas com LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS. Estes solos favorecem a drenagem. Os CAMBISSOLOS ocorrem nos vales dos rios e em áreas de declividade junto com os NEOSSOLOS LITÓLICOS. Esta unidade encontra-se sobre o Grupo Paranoá, Grupo Canastra e sobre a cobertura detrito-laterítica.

Superfície de Dissolução Superior: área com altitude média de 767m. Apresenta uma maior ação do intemperismo químico do que fisíco, devido à acumulação de fluxo que atua na dissolução das rochas carbonáticas da Formação Vazante, dando origem a algumas formas cársticas. Os solos que ocorrem predominantemente são CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS devido à declividade que ocorre na área. Há uma pequena ocorrência de ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS nessa unidade.

Superfície de Dissolução Inferior: área com altitude média de 648m. Nessa unidade observa-se facilmente uma maior ação do intemperismo químico do que a unidade anterior devido a um maior acúmulo do fluxo que age sobre as rochas carbonáticas da Formação Vazante e do Sub-Grupo Paraopeba, desenvolvendo assim, as formas típicas do carste. É nessa unidade que se encontra a maior parte dos espeleotemas da área de estudo. Os solos predominantes nas formações cársticas são os CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS. Esses solos por terem um perfil pouco desenvolvido favorecem a percolação da água que vai formar essas feições. O LATOSSOLO VERMELHO ocorre nessa unidade, mas nas áreas mais altas e também nas áreas próximas a planície. Em pequenas áreas ocorrem ARGISSOLO VERMELHO e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS.

Superfície de Acumulação: parte mais baixa da região, com altitude média de 530m. Nessa unidade localiza-se o vale do Rio Paracatu. Essa morfologia é explicada por estar sobre as formações geológicas do Sub-grupo Paraopeba (maior parte) e da Formação Vazante (menor parte). Essas formações geológicas são constituídas principalmente de rochas carbonáticas, que são rochas solúveis, favorecendo as formas de relevo com altitudes mais baixas. Os solos que ocorrem em maior quantidade são os LATOSSOLOS VERMELHOS, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS e os NEOSSOLOS FLÚVICOS ao longo do vale do Rio Paracatu.

CONCLUSÃO

Observa-se que o relevo da região é caracterizado principalmente pelas altitudes médias. A definição das unidades do relevo pela compartimentação geomorfológica caracteriza melhor a região, o que permite fazer estudos mais específicos. Assim, a definição de quatro unidades geomorfológicas demonstrou ser melhor do que a adotada pelo PLANPLAR que estabelece três grandes unidades geomorfológicas. O emprego da compartimentação geomorfológica no estudo de paisagens por meio de dados morfométricos e de suas estatísticas mostrou-se eficaz.

Por ser uma área predominantemente composta por rochas carbonáticas, apresenta também como componentes da paisagem formas típicas do relevo cárstico, como cavernas; formas extremamente relacionadas com a topografia e com o regime de fluxo que são aspectos imprescindíveis para a formação da paisagem cárstica.

Portanto, a metodologia utilizada foi satisfatória porque possibilitou a análise da paisagem relacionando as formas do relevo, com a geologia, pedologia e as relações de fluxo. Novos trabalhos podem ser realizados usando essa metodologia, que associados a outros fatores, como o uso do solo, complementarão o estudo.

REFERÊNCIAS

BIGARELLA, J. J; BECKER, R.D. e PASSOS, E. Paisagem cárstica. In:____. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. v.1. Florianópolis: UFSC, 1996. Cap. 5. p. 242-308.

BRASIL, Ministério das Minas Energia. Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD. 23 Brasilia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Volume 29. Rio de Janeiro, 1982. 660p

CÁRDENAS, F. P. A. **Zoneamento geoambiental de uma parte da bacia do rio Nechí** - Colômbia, por meio de técnicas de geoprocessamento. Dissertação de mestrado. Brasília: IG/UnB, 1999. 129p.

CASSETI, V. **Estrutura e Gênese da Compartimentação da Paisagem de Serra Negra (MG)**. Goiânia: Editora da EFG, 1981. 124p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p 415-440.

DANTAS, M. E. Geomorfologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** - Fase I. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2003, v.2, p. 01-29.

EVANS and MCCLEAN. The land surface is not unifractal: variograms, cirque scale and allometry. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl, 1995 – Band 101: 127-147.

EVANS, L. S. Correlation strutures and factor analysis in the investigation of data dimensionality: statical propities of the Wessex land surface. Proceedings, International Symposium on Spatial Data Handling'84 v.1:98-116, Geogr. Inst., Universität Zürich, Switzerland, 1984.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa: Produção de Informação, 1999. 412p.

HERMUCHE, P. M. ; ANDRADE, A.C.; GUIMARÃES, R.F.; LEAL, L.R.; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; MARTINS, E.S. Compartimentação geomorfológica em escala regional da bacia do rio Paranã. **Geouerj**, Rio de Janeiro, v. 1, p. E2-2-2T288, 2003a. CD-ROM.

HERMUCHE, P. M.; CARVALHO, A. P. F. ; MARTINS, E. S. ; FUCKS, S.D. ; CARVALHO JUNIOR, O. A. . Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003b, Belo Horizonte (MG). **Anais XI SBSR**. São José dos Campos : INPE, 2003. p. 123-130.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUCKS, S.D. ; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; SANTOS, N.B.F.; REATTO, A. Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas. **Documentos - Embrapa Cerrados**, Planaltina (DF), v. 68, p. 1-25, 2002.

LEAL, L.R.; ANDRADE, A.C.; PANQUESTOR, E.K.; RAMOS, V.M. ; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Definição de unidades geomorfológicas a partir de imagens de dados morfométricos na bacia do Rio Grande (BA). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. **Anais XI SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2055-2062.

MORRE I. D., GRAYSON, R.B. and LADSON A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, 5: 3-30, 1991.

OLIVEIRA, B.M.L. ; RAMOS, V.M.; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; GUIMARÃES, R.F.; BETTIOL, G.M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E.S.; REATTO, A. Avaliação do uso da morfometria como suporte para a elaboração de mapa pedológico na bacia do Ribeirão da Pedreira - DF. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais XII SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3167-3174.

PANQUESTOR, E. K.; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; LEAL, L.R.; ANDRADE, A.C.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R.F. Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da bacia do rio Corrente (BA). **Espaço e Geografia**, Brasília (DF), v. 5, n. 1, p. 87-99, 2002.

PINTO, M. N. Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: ____ (org.). **Cerrado**: Caracterização, ocupação e perspectivas. 2ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993. Cap. 17. p.511-541.

PLANPAR - **Plano Diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu** - relatório de inventário dos recursos hídricos. 1998. In: Sistema de Informação de recursos hídricos. Disponível em:< http://www.hidricos.mg.gov.br/in-mi.htm>. Acessado em: 07/07/2005.

SCHIMIDT & DIKAU. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs. In DIKAU, R. and SAURER, H. (eds) GIS in **physical geography**. 1998.

SCHOBBENHAUS, C. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In:____(coord.). **Geologia do Brasil**- texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000. Cap. VI. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984. p.251-299.

SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A. A. S.; ARAÚJO, V. A.; RODRIGUES, J. B.; GONÇALVES, H. S. Geologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** - Fase I. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2003, v.1, p. 09-15.